

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-249750

(43) 公開日 平成6年(1994)9月9日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>

G01M 11/02

11/00

識別記号

庁内整理番号

J 9309-2G

R 9309-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平5-40264

(22) 出願日 平成5年(1993)3月1日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 泉田 史

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 古川 眞一

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 三川 泉

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

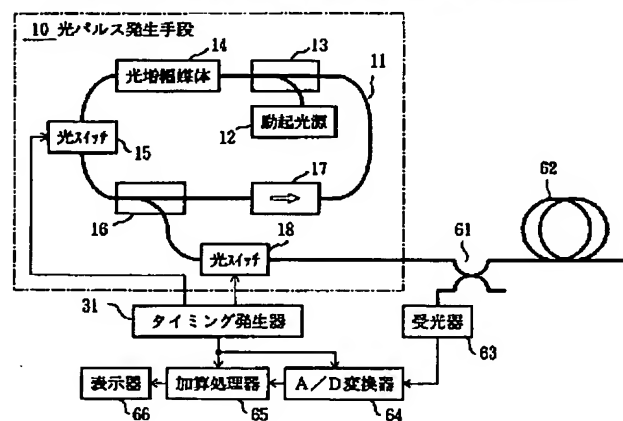
(54) 【発明の名称】 光パルス試験器

(57) 【要約】

【目的】 光信号の伝送媒体である光ファイバの光損失その他の特性を試験する光パルス試験器に関し、簡単な構成で、主要な試験波長の高出力光パルスを発生でき、高ダイナミックレンジを達成することを目的とする。

【構成】 光パルスを被試験光ファイバに繰り返し送出する光パルス発生手段と、被試験光ファイバからの反射光および後方散乱光を受光する光ファイバ特性測定手段とを備えた光パルス試験器において、光パルス発生手段は、励起光源から出射された励起光を光増幅媒体および所定の周期でオンオフする第1光スイッチを介して周回させ、そのリング長に応じたパルス幅を有する光パルスを発生させ、光分岐器を介して外部に分岐出力するQスイッチリングレーザと、光分岐器から分岐出力された光パルスを取り込み、そのピークに合わせたタイミングで整形して出力する第2光スイッチとを備える。

請求項1および請求項2に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定周期ごとに所定波長および所定パルス幅の光パルスを発生し、被試験光ファイバに繰り返し送出する光パルス発生手段と、

前記被試験光ファイバから戻ってくる前記光パルスに対する反射光および後方散乱光を受光し、所定の信号処理を施して得られた前記被試験光ファイバの特性を示す情報を表示する光ファイバ特性測定手段とを備えた光パルス試験器において、

前記光パルス発生手段は、

励起光源から出射された励起光を光増幅媒体および所定の周期でオンオフする第 1 光スイッチを介して周回させ、そのリング長に応じたパルス幅を有する光パルスを発生させ、光分岐器を介して外部に分岐出力する Q スイッチリングレーザと、

前記光分岐器から分岐出力された光パルスを取り込み、そのピークに合わせたタイミングで整形して出力する第 2 光スイッチとを備えたことを特徴とする光パルス試験器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光パルス試験器において、

第 1 光スイッチのオンオフ時間比率を Q スイッチリングレーザのリング長および光増幅媒体の効率に応じて可変させる構成であることを特徴とする光パルス試験器。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光パルス試験器において、

Q スイッチリングレーザは、第 1 光スイッチおよび光分岐器に代えて  $1 \times 2$  スイッチを用い、その入力端と一方の出力端を光ループ側に接続し、他方の出力端を第 2 光スイッチ側に接続し、所定の周期で各出力端を交互に切り替える構成であることを特徴とする光パルス試験器。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光パルス試験器において、

$1 \times 2$  スイッチの切り替え時間比率を Q スイッチリングレーザのリング長および光増幅媒体の効率に応じて可変させる構成であることを特徴とする光パルス試験器。

【請求項 5】 請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載の光パルス試験器において、

光増幅媒体は、少なくとも 1 種類以上の希土類元素または遷移金属元素を添加した光ファイバまたは光導波路を用いる構成であることを特徴とする光パルス試験器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】 本発明は、光信号の伝送媒体である光ファイバの光損失その他の特性を試験する光パルス試験器に関する。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 信頼性が高く、経済的な光通信システムを実現するためには、光信号伝送路となる光ファイバ線路の信頼性および経済性が重要な課題となる。そのため

に、光ファイバの特性をできるだけ長距離に渡って試験する必要がある。

【 0 0 0 3 】 この要求に応える光パルス試験器 (OTDR) は、被試験光ファイバに光パルスを送出し、その被試験光ファイバからの反射光や後方散乱光を受信し、これを解析して被試験光ファイバの光損失その他の特性を画面表示する装置である。この光パルス試験器は、被試験光ファイバの片端から試験できることから極めて有用な試験器とされているが、その測定可能距離 (以下「ダイナミックレンジ」という。) の拡大が課題になっている。

【 0 0 0 4 】 ダイナミックレンジを拡大するためには、一般に被試験光ファイバへ送出する光パルス強度を大きくする必要があり、高出力光パルスの発生方法が検討されている。その一例として、ガスレーザや固体レーザを用いた構成がある。特に、Q スイッチを用いた Nd:YAG パルスレーザは、1kW 以上のピークパワーの光パルスを発生させることができる。

【 0 0 0 5 】 図 7 は、Nd:YAG パルスレーザを光パルス発生手段として用いた従来の光パルス試験器の構成例を示すブロック図である。図において、Nd:YAG パルスレーザで構成された光パルス発生手段 70 から所定周期ごとに出力される光パルスは、3dB カプラ 61 を介して被試験光ファイバ 62 に入射される。また、被試験光ファイバ 62 から戻ってくる反射光および後方散乱光は、3dB カプラ 61 を介して受光器 63 に入射され、電気信号に変換されて A/D 変換器 64 に入力される。A/D 変換器 64 の出力は、加算処理器 65 に逐次入力され、所定周期ごとに加算して信号対雑音比の改善が図られる。表示器 66 では、加算処理器 65 における加算信号から雑音電力を差し引いて対数変換した波形を表示する。タイミング発生器 67 は、光パルス発生手段 70 と A/D 変換器 64 および加算処理器 65 に所定周期の同期信号を送る。

【 0 0 0 6 】 光パルス発生手段 70 は、Nd:YAG パルスレーザのロッド 71 と、励起光源 72 と、レンズ 73 と、光スイッチ 74 と、ハーフミラー 75 により構成される。Nd:YAG パルスレーザのロッド 71 には、励起光源 72 から出射された励起光がレンズ 73 を介して入射され、励起によって生じたレーザ光が出射される。このレーザ光が入射される光スイッチ 74 は、タイミング発生器 67 の同期信号を受けて動作し、一定時間オンとなり、その他の時間はオフとなる。光スイッチ 74 の損失は、オンのときは約 3dB であり、オフのときは 60dB 以上でほぼ完全遮断状態になる。この光スイッチ 74 を所定周期で一定時間オンにする Q スイッチ動作をさせると、光パルス発生手段 70 では  $1.31 \mu\text{m}$  帯の波長でパルス発振する。この光パルスをハーフミラー 75 を介して外部に取り出す。なお、ハーフミラー 75 は、被試験光ファイバ 62 から戻ってくる反射光および後方散乱光の

入射を阻止する働きをする。

【0007】図8は、ファブリーペロー型半導体レーザ（以下「FP-LD」という。）を光パルス発生手段として用いた従来の光パルス試験器の構成例を示すブロック図である。

【0008】図において、光パルス発生手段80の構成を除く他の部分は、図7に示す光パルス試験器の構成と同様であり、同一符号を付して説明に代える。光パルス発生手段80は、FP-LD81で構成され、タイミング発生器67の同期信号を受けて所定パルス幅の光パルスを発生し、外部に送出する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】図7に示すNd:YAGパルスレーザを用いた従来の光パルス試験器では、高出力光パルスが容易に得られ、ダイナミックレンジを大きくすることができる。しかし、光パルス発生手段70を構成する各光学系は空間で結合されており、光軸その他の調整が必要であった。また、Nd:YAGパルスレーザのロッド71で発生した熱を放熱するために、放熱板や冷却水などが必要となり、光パルス試験器の構成が複雑かつ大がかりになる問題点があった。

【0010】また、励起光源72から出射される励起光は連続光であるので、3dBカプラ61を介して常に被試験光ファイバ62に入射される。したがって、被試験光ファイバ62には光パルスとともに励起光も入射され、この励起光による後方散乱光が、光パルスによる反射光や後方散乱光を覆い隠すことになり、受光感度を劣化させる要因になっていた。また、それを回避するためには、励起光を遮断するフィルタが別途必要であった。

【0011】また、試験に用いる光パルスの波長は、主に1.31 $\mu$ m帯、1.55 $\mu$ m帯、1.65 $\mu$ m帯であるが、1.65 $\mu$ m帯の光パルスの場合には簡単な構成で発生させることができず、高出力化が困難であった。

【0012】図8に示すFP-LDを用いた従来の光パルス試験器では、構成が簡単であるが、光パルスのピークパワーが小さく、ダイナミックレンジを大きくすることができなかった。

【0013】図9は、1.31 $\mu$ m帯のFP-LDを用いた光パルス試験器で長さ80kmの標準光ファイバを測定した結果である。このときの光パルスのパルス幅は100nsでありピークパワーは20mWである。加算処理器65における加算回数は、2<sup>16</sup>回である。この結果からもわかるように、この光パルス試験器では被試験光ファイバの64kmまでしか測定できず、遠端（80km）までの測定はできなかった。なお、このときのダイナミックレンジは19dBである。また、試験波長が1.55 $\mu$ m帯、1.65 $\mu$ m帯の場合も同様であった。

【0014】本発明は、簡単な構成で、主要な試験波長の高出力光パルスを発生でき、高ダイナミックレンジを達成することができる光パルス試験器を提供することを

目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、所定周期ごとに所定波長および所定パルス幅の光パルスを発生し、被試験光ファイバに繰り返し送出する光パルス発生手段と、被試験光ファイバから戻ってくる前記光パルスに対する反射光および後方散乱光を受光し、所定の信号処理を施して得られた被試験光ファイバの特性を示す情報を表示する光ファイバ特性測定手段とを備えた光パルス試験器において、光パルス発生手段は、励起光源から出射された励起光を光増幅媒体および所定の周期でオンオフする第1光スイッチを介して周回させ、そのリング長に応じたパルス幅を有する光パルスを発生させ、光分岐器を介して外部に分岐出力するQスイッチリングレーザと、光分岐器から分岐出力された光パルスを取り込み、そのピークに合わせたタイミングで整形して出力する第2光スイッチとを備える。

【0016】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光パルス試験器において、第1光スイッチのオンオフ時間比率をQスイッチリングレーザのリング長および光増幅媒体の効率に応じて可変させる構成である。

【0017】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の光パルス試験器において、Qスイッチリングレーザは、第1光スイッチおよび光分岐器に代えて1×2スイッチを用い、その入力端と一方の出力端を光ループ側に接続し、他方の出力端を第2光スイッチ側に接続し、所定の周期で各出力端を交互に切り替える構成である。

【0018】請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の光パルス試験器において、1×2スイッチの切り替え時間比率をQスイッチリングレーザのリング長および光増幅媒体の効率に応じて可変させる構成である。

【0019】請求項5に記載の発明は、請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の光パルス試験器において、光増幅媒体は、少なくとも1種類以上の希土類元素または遷移金属元素を添加した光ファイバまたは光導波路を用いる構成である。

【0020】

【作用】請求項1および請求項3に記載の発明は、光パルス発生手段として、Qスイッチリングレーザの発振動作によって光パルスを発生させ、その光パルスをさらに整形して出力する構成をとることにより、容易に高出力光パルスを得ることができる。また、光軸調整などの操作が不要となり、また励起光遮断のためのフィルタも不要となるので、光パルス試験器の構成を簡単にすることができる。なお、請求項3に記載の発明は、1×2スイッチが第1光スイッチおよび光分岐器を兼ねるので、さらに構成を簡単にして高出力光パルスを得ることができる。

【0021】請求項2および請求項4に記載の発明は、第1光スイッチのオンオフ時間比率または1×2スイ

チの切り替え時間比率を可変にすることにより、最適なタイミングで高出力光パルスを出力させることができる。

【0022】請求項5に記載の発明は、Qスイッチリングレーザを構成する光増幅媒体を適宜選択することにより、必要な試験波長を有する光パルスを容易に発生させることができる。

【0023】

【実施例】図1は、請求項1および請求項2に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成を示すブロック図である。

【0024】図において、光パルス発生手段10の構成およびタイミング発生器31を除く他の部分は、図7に示す従来の光パルス試験器の構成と同様であり、同一符号を付して説明に代える。

【0025】本実施例の光パルス発生手段10は、光ファイバ11、励起光源12、光合波器13、光増幅媒体14、光スイッチ15、光分岐器16および光アイソレータ17により構成されるQスイッチリングレーザと、光分岐器16で分岐された光パルスを整形して光パルス発生手段10の出力とする光スイッチ18とを有する。

【0026】Qスイッチリングレーザは、光ファイバ11を介して、光合波器13、光増幅媒体14、光スイッチ15、光分岐器16および光アイソレータ17をリング状に接続し、励起光源12から出射された励起光を光合波器13を介して光増幅媒体14に導く構成である。光スイッチ15は、タイミング発生器31の同期信号を受けて動作し、一定時間オンとなり、その他の時間はオフとなる。その損失は、オンのときは2dBであり、オフのときは60dB以上でほぼ完全遮断状態になる。光増幅媒体14が励起光により励起された状態で、光スイッチ15を所定周期で6 $\mu$ sだけオンにするQスイッチ動作をさせると、励起されたエネルギーが瞬間的に正帰還増幅され、Qスイッチリングレーザとして1.31 $\mu$ m帯の波長でパルス発振する。なお、光スイッチ15のオンオフ時間間隔は、Qスイッチリングレーザのリング長および光増幅媒体14の効率に応じて適宜設定される。

【0027】ここで、光分岐器16から分岐出力される光パルス波形の一例を図2に示す。なお、このとき用いた光増幅媒体14は、Pr(プラセオジウム)添加光ファイバであり、長さが15mで、Prイオン添加濃度が500ppmである。励起光源12は、1.01 $\mu$ m帯の半導体レーザであり、光スイッチ15は光チョッパーである。また、光分岐器16の損失は、光ループ側および分岐出力側ともに3.5dBである。このような条件で得られる1.31 $\mu$ m帯の光パルスは、半値幅165ns、ピークパワー1Wであった。

【0028】この光パルスのパルス幅は、Qスイッチリングレーザを発振光が一周回する時間に相当するので、リング長を変えることにより容易に任意のパルス幅を設

定することができる。

【0029】Qスイッチリングレーザ(光分岐器16)から分岐出力される光パルスは、図2に示すように、ピークパワーをもつ $P_0$ のパルスを中心に、 $P_1 \sim P_{10}$ のようなサイドローブが存在する。この状態の光パルスを光パルス発生手段10の出力として試験を行うと、距離分解能が劣化する。したがって、光スイッチ18を用い、Qスイッチリングレーザから分岐出力される光パルスをそのピークを中心に100nsのパルス幅に整形する。

10 なお、光スイッチ18は、Qスイッチリングレーザ内の光スイッチ15と同様にタイミング発生器31の同期信号を受けて動作するが、Qスイッチリングレーザから分岐出力される光パルスのピークでオンとなるようにタイミング制御される。これにより、光パルス発生手段10から出力される光パルスは、矩形の単一光パルスとすることができる。

【0030】ここで、光スイッチ18で整形されて光パルス発生手段10の出力となる光パルス波形を図3に示す。光スイッチ18における損失があるためにピークパワーは約500mWになっている。

【0031】また、この光パルスを用いて長さ80kmの標準光ファイバを測定した結果を図4に示す。加算処理器65における加算回数は、 $2^{16}$ 回であり、加算周期は1.64msである。この結果からもわかるように、本実施例の光パルス試験器では被試験光ファイバの遠端(80km)までの測定が可能となり、このときのダイナミックレンジは26dBとなり、従来のものに比べて7dB向上している。

【0032】なお、このとき、光スイッチ18は連続光としてQスイッチリングレーザから出力されていた励起光についても同様にパルス化するので、励起光が試験にもたらす影響を抑えることができる。

【0033】図5は、請求項3および請求項4に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成を示すブロック図である。図において、光パルス発生手段10の構成およびタイミング発生器32を除く他の部分は、図7に示す従来の光パルス試験器の構成と同様であり、同一符号を付して説明に代える。

【0034】本実施例の光パルス発生手段20は、光ファイバ11、励起光源12、光合波器13、光増幅媒体14、1 $\times$ 2スイッチとして用いる音響光学スイッチ21および光アイソレータ17により構成されるQスイッチリングレーザと、音響光学スイッチ21の0次側出力端から取り出された光パルスを整形して光パルス発生手段20の出力とする光スイッチ18とを有する。

【0035】Qスイッチリングレーザは、光ファイバ11を介して、光合波器13、光増幅媒体14、音響光学スイッチ21の1次側出力端および光アイソレータ17をリング状に接続し、励起光源12から出射された励起光を光合波器13を介して光増幅媒体14に導く構成である。音響光学スイッチ21は、タイミング発生器32

の同期信号を受けて動作し、一定時間オンとなり、その他の時間はオフとなる。光増幅媒体14が励起光により励起された状態で、音響光学スイッチ21を所定周期で $6\mu\text{s}$ だけオンにするQスイッチ動作をさせると、同様にQスイッチリングレーザとして $1.31\mu\text{m}$ 帯の波長でパルス発振する。その光パルス波形は図2に示すものと同様である。ただし、オンのときの0次側の損失は7dBであり、出力光パルスのピークパワーは約半分になる。

【0036】一方、音響光学スイッチ21がオフのときの0次側の損失は3dBである。そこで、光パルスのピークパワーに対応する時点T<sub>1</sub>で、音響光学スイッチ21をオフにして光パルスを取り出せば、出力時の損失は3dBに抑えることができる。このときの光パルス波形の一例を図6に示す。なお、このとき得られる $1.31\mu\text{m}$ 帯の光パルスは、半値幅165ns、ピークパワー1.1Wであった。

【0037】以下同様に、光スイッチ18を用い、Qスイッチリングレーザから分岐出力される光パルスをそのピークを中心に整形する。このように、音響光学スイッチ21を用いた場合でも、同様にして高出力光パルスを発生させることができる。なお、この光パルスのパルス幅は、同様にQスイッチリングレーザを発振光が一周回する時間に相当するので、リング長を変えることにより容易に任意のパルス幅を設定することができる。

【0038】また、請求項5に対応する実施例として、図1および図5に示す光パルス発生手段10、20の各Qスイッチリングレーザにおいて、光増幅媒体14として希土類元素であるEr(エルビウム)イオンを100ppm添加した長さ20mのEr添加光ファイバを用い、励起光源12として $1.48\mu\text{m}$ 帯で出力パワー約15mWの半導体レーザを用いた場合には、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で約2Wの光パルス(パルス幅100ns)を出力させることができた。したがって、この光パルス発生手段を用いて光パルス試験器を構成しても、高ダイナミックレンジを達成することができる。なお、励起光源12として $0.98\mu\text{m}$ 帯、 $0.8\mu\text{m}$ 帯、 $0.65\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザを用いても同様であった。

【0039】また、光増幅媒体14として希土類元素であるTm(ツリウム)イオンを100ppm添加した長さ3mのTm添加光ファイバを用い、励起光源12として $0.78\mu\text{m}$ 帯で出力パワー約50mWの半導体レーザを用いた場合には、 $1.65\mu\text{m}$ 帯で約1Wの光パルス(パルス幅100ns)を出力させることができた。したがって、この光パルス発生手段を用いて光パルス試験器を構成しても、高ダイナミックレンジを達成することができる。なお、励起光源12として $1.21\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザを用いても同様であった。

【0040】また、光増幅媒体14として遷移金属元素であるNi(ニッケル)イオンを1000ppm添加した長さ10mのNi添加光ファイバを用い、励起光源12として $1.50$

$31\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザを用いた場合にも、同様の光パルスを発生させることができた。さらに、Co(コバルト)添加光ファイバを用いても同様であった。

【0041】また、光増幅媒体14として、以上示した希土類元素または遷移金属元素を光導波路に添加したものをを用いても同様であった。光増幅媒体14としてこのような光ファイバあるいは光導波路を用いることにより、それらを冷却する必要がなく、簡単な構成で高出力光パルスを発生させることができる。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、Qスイッチリングレーザを有する光パルス発生手段を用いることにより、発生させる光パルスの高出力化を容易に実現することができ、光パルス試験器のダイナミックレンジを大幅に高めることができる。

【0043】また、励起光遮断のためのフィルタや光軸調整などの操作が不要となり、さらに光増幅媒体の冷却機構も不要であるので、光パルス試験器の構成を簡単にすることができる。また、試験波長として用いられる $1.31\mu\text{m}$ 帯、 $1.55\mu\text{m}$ 帯、 $1.65\mu\text{m}$ 帯の高出力光パルスも容易に発生させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1および請求項2に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成を示すブロック図。

【図2】光分岐器16から分岐出力される光パルス波形の一例を示す図。

【図3】光パルス発生手段10の出力となる光パルス波形を示す図。

【図4】本実施例の光パルス試験器を用いて標準光ファイバを測定した結果を示す図。

【図5】請求項3および請求項4に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成を示すブロック図。

【図6】音響光学スイッチ21から分岐出力される光パルス波形の一例を示す図。

【図7】従来の光パルス試験器の構成例を示すブロック図。

【図8】従来の光パルス試験器の構成例を示すブロック図。

【図9】 $1.31\mu\text{m}$ 帯のFP-LDを用いた光パルス試験器で標準光ファイバを測定した結果を示す図。

【符号の説明】

10, 20, 70, 80 光パルス発生手段

11 光ファイバ

12 励起光源

13 光合波器

14 光増幅媒体

15 光スイッチ

16 光分岐器

17 光アイソレータ

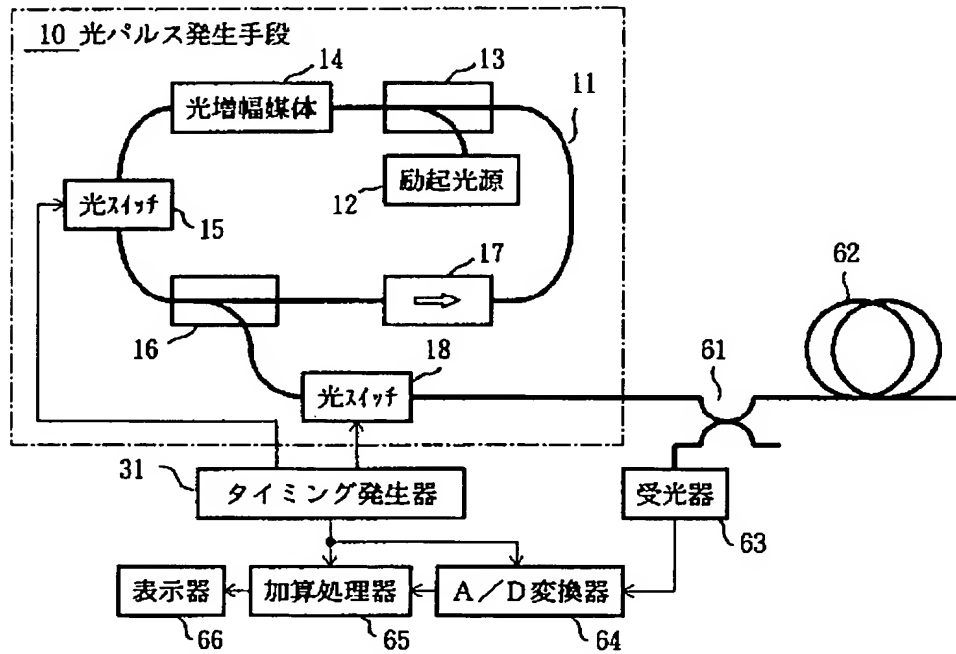
18 光スイッチ

2 1 音響光学スイッチ  
 3 1, 3 2, 6 7 タイミング発生器  
 6 1 3dBカプラ  
 6 2 被試験光ファイバ

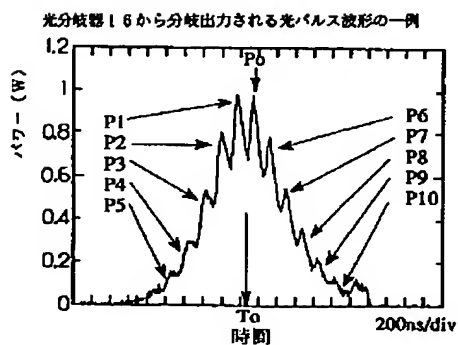
6 3 受光器  
 6 4 A/D変換器  
 6 5 加算処理器  
 6 6 表示器

【図 1】

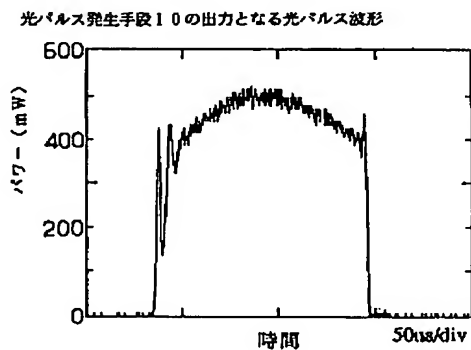
請求項 1 および請求項 2 に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成



【図 2】

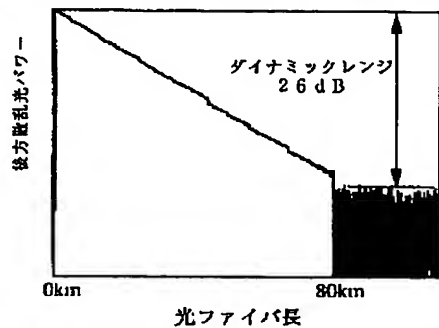


【図 3】



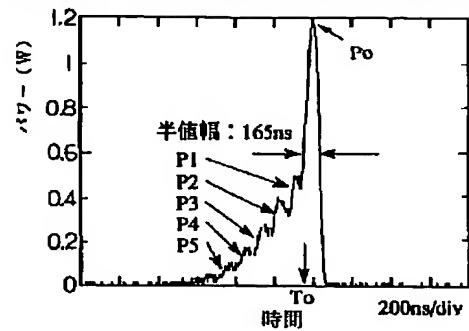
【図4】

本実施例の光パルス試験器を用いて標準光ファイバを測定した結果



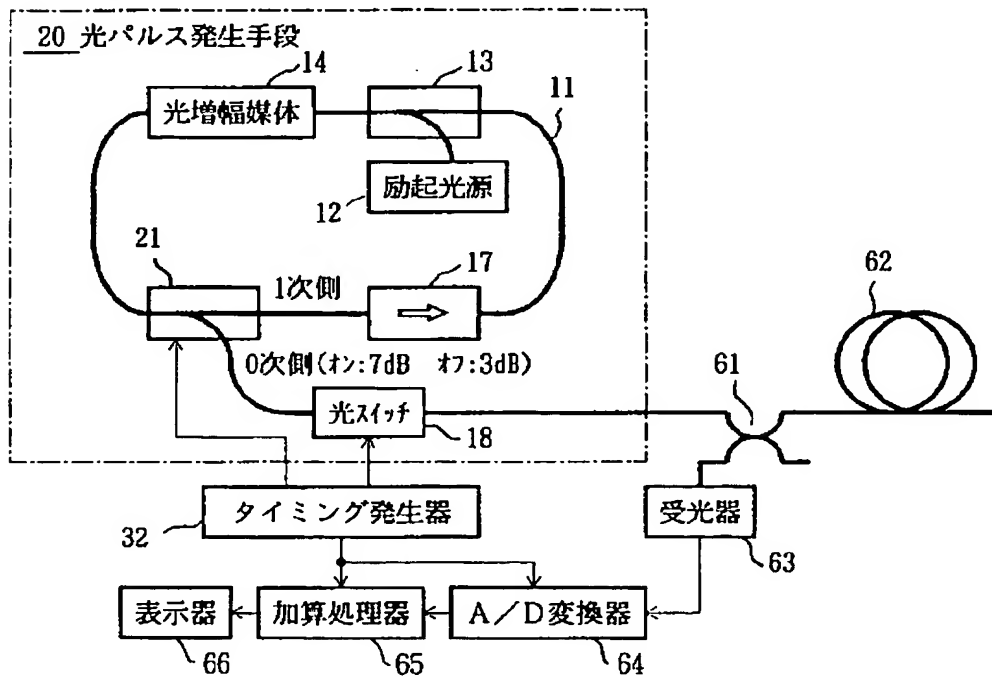
【図6】

音響光学スイッチ21から分岐出力される光パルス波形の一例



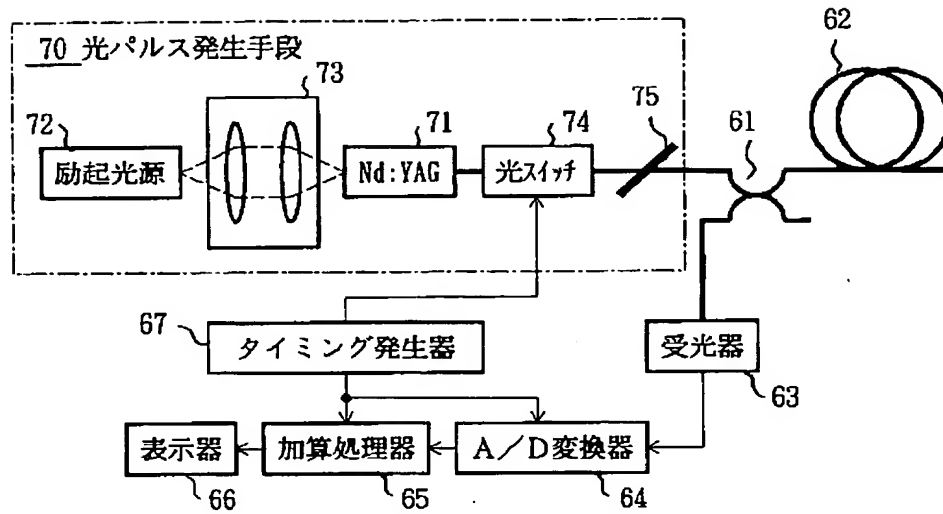
【図5】

請求項3および請求項4に記載の発明の光パルス試験器の実施例構成



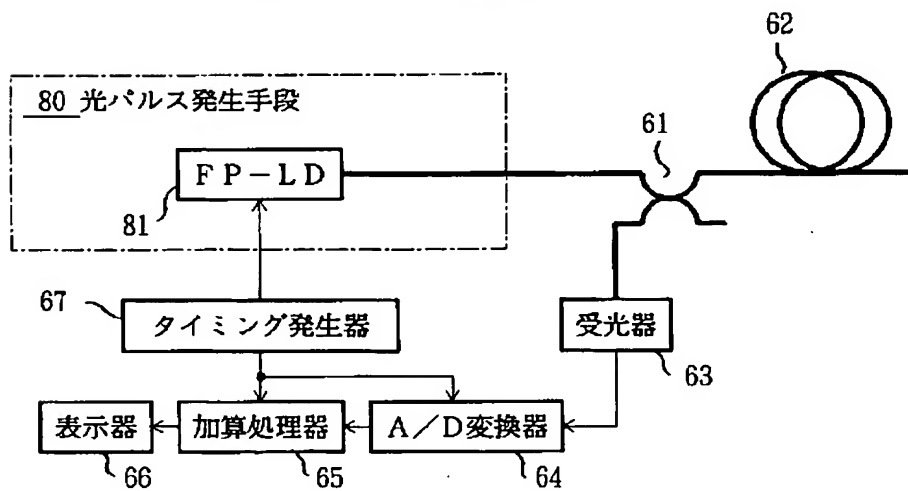
【図7】

従来の光パルス試験器の構成例



【図8】

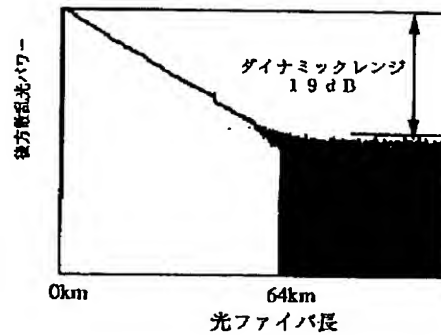
従来の光パルス試験器の構成例





【図 9】

1. 31 $\mu$ m 帯の PP-LD を用いた光パルス試験器で標準光ファイバを測定した結果



フロントページの続き

(72)発明者 小山田 弥平  
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 山本 文彦  
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日  
本電信電話株式会社内